

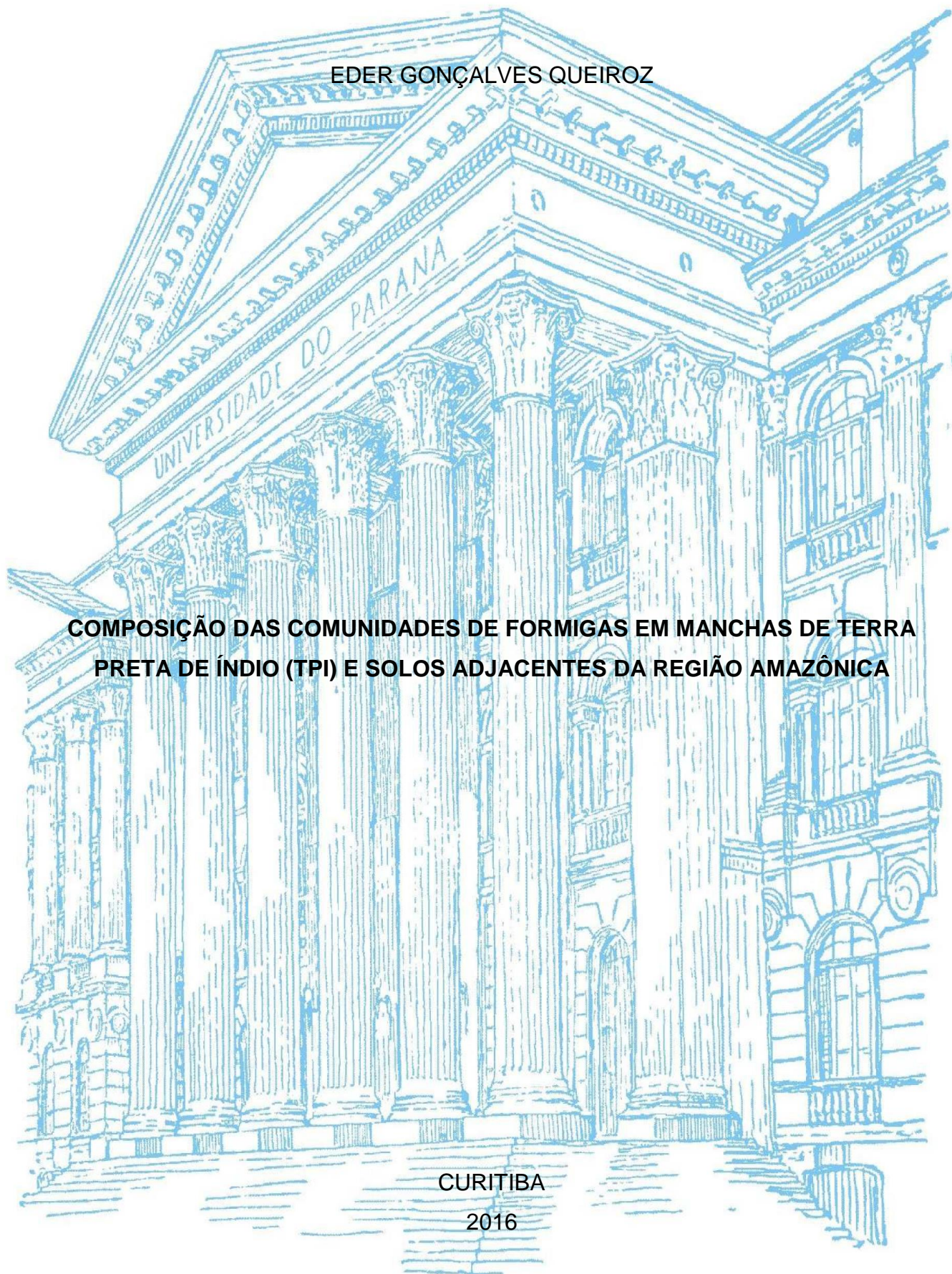
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDER GONÇALVES QUEIROZ

**COMPOSIÇÃO DAS COMUNIDADES DE FORMIGAS EM MANCHAS DE TERRA
PRETA DE ÍNDIO (TPI) E SOLOS ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA**

CURITIBA

2016



EDER GONÇALVES QUEIROZ

**COMPOSIÇÃO DAS COMUNIDADES DE FORMIGAS EM MANCHAS DE TERRA
PRETA DE ÍNDIO (TPI) E SOLOS ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à conclusão do Bacharelado em Ciências Biológicas, no Departamento de Zoologia, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo dos Santos Machado Feitosa

Co-orientador: Me. Alexandre Casadei Ferreira

CURITIBA

2016

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais, que me deram todo o amor possível e são exemplo de todas as qualidades humanas que eu conheço. Que acreditaram que eu poderia entrar em uma Universidade de renome e que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões.

Às minhas irmãs Cláudia, Andrea e Aldrey, por todo o amor, porque sempre estiveram ao meu lado me incentivando e me ajudando de todas as maneiras possíveis, e a todos os outros membros dessa grande família.

À minha família de Santa Felicidade, meus sogros Antonio e Elenice por serem os melhores sogros que eu poderia ter e por tudo o que já fizeram por mim, aos meus cunhados Fabiola e Rafael pelo grande companheirismo.

Por último e mais importante, dedico este trabalho a Camila Menegusso, minha noiva, meu amor. Por apoiar meu sonho de se tornar Biólogo desde o Ensino Médio, pelo companheirismo durante todos os anos da minha graduação, pelas madrugadas em claro junto a mim durante o desenvolvimento deste trabalho. Pelos puxões de orelha quando eu só queria procrastinar, por me colocar nos eixos quando eu pensei em desistir do curso. Porque sem ela este trabalho não existiria. Porque ela é o amor da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Paraná por todo o suporte durante minha formação, sem o intercâmbio, RU e bolsa permanência as coisas seriam bem mais complicadas. Aos professores por todo o conhecimento, dedicação e inspiração profissional. Aos técnicos e demais funcionários, a todos os laboratórios que fiz parte e a todos os orientadores que tive durante a graduação.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Rodrigo dos Santos Machado Feitosa e Me. Alexandre Casadei Ferreira, primeiramente por terem acreditado em mim, permitindo que eu fizesse parte deste projeto singular. Por todas as horas de orientação, pela paciência e sabedoria que me ofereceram durante este ano.

Agradeço ao Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas e aos colegas Alexandre, Aline, Gabriela, Juliana, Luiza, Mayron, Mila, Paloma, Thiago, Weslly pelo companheirismo, por toda ajuda, conselhos, risadas, cafés, churrascos, companhia, por terem me recebido de braços abertos e pelo exemplo de profissionalismo e dedicação de todos que fazem parte deste lab. Ao Sebastian, pela grande ajuda durante as análises.

Agradeço aos meus colegas de classe Ana, Alessandra, Alexandre, Alíni, Douglas, Eduardo, Luana, Saritha, Suelen, Wagner por terem compartilhado dos mesmos dramas e alegrias durante o curso, pelas risadas, pela companhia durante os estudos, pelo ouvido amigo e por terem tornado esta jornada mais fácil e agradável. Em especial ao Fernando Jerônimo pela amizade e companheirismo durante todos os anos de graduação.

*“Get over your hill and see what you find
there”*

(Mumford & Sons, 2009)

RESUMO

Formigas (Hymenoptera: Formicidae) são insetos eussociais e estão presentes em praticamente todos os ambientes terrestres, sendo o grupo de insetos mais abundante ao lado dos cupins. A região Amazônica é uma das mais abundantes e diversas em espécies de formigas no mundo. Estima-se que nesta região a biomassa de formigas seja quatro vezes maior que a de todos os vertebrados. Aproximadamente 50% das espécies de formigas tropicais podem estar associadas ao solo e a serapilheira. Entre os diversos tipos de solos presentes nesta região, a “Terra Preta de Índio” (TPI) é um solo com coloração escura e quimicamente diferente dos demais, formado possivelmente em consequência da ocupação e atividade de povos Pré-Colombianos. Neste trabalho realizou-se um levantamento da fauna de formigas em manchas de TPI e solos adjacentes (controle) em três áreas do município de Manaus, AM e em duas áreas de Santarém, PA. Um total de 183 espécies foram coletadas somando-se os dois municípios. As subfamílias mais ricas foram Myrmicinae (123 espécies), Ponerinae (22 espécies) e Formicinae (18 espécies). Comparando a riqueza de espécies entre os solos de TPI e seus respectivos controles dos dois municípios, não se verificou diferença. Analisando a semelhança na composição das comunidades de formigas entre os solos de TPI e seus controles do município de Manaus, não se observou similaridade significativa ($p=0,7111$). Da mesma forma, a composição de formigas não se mostrou semelhante entre os solos de mesma categoria ($p=0,5889$). Em relação as áreas de Santarém, também não se observou semelhança na composição de formigas entre os solos de TPI e controle, ($p=0,6667$), nem mesmo entre os solos de mesma categoria ($p=0,3333$). Portanto, a hipótese de que as áreas com solo de TPI poderiam apresentar uma composição característica da fauna de formigas foi refutada. Entretanto, a ausência de estudos com Formicidae em manchas de TPI torna este trabalho de grande importância devido ao seu caráter pioneiro.

Palavras-chave: Antropossolo. Pré-Colombiano. Macrofauna.

ABSTRACT

Ants (Hymenoptera: Formicidae) are eusocial insects and they are present in almost all terrestrial environments, being the most abundant insects group alongside termites. The Amazon region is one of the most abundant place and diverse of species of ants in the world. It is estimated that this region the biomass of ants is four times greater than all vertebrates. Approximately 50% of species of tropical ants may be associated with soil and leaf litter. Among the various types of soils present in this region, Amazon Black Earth or "Terra Preta de Índio" (TPI) is a soil with dark colored and chemically different from the others, possibly formed as a result of the occupation and activity of Pre-Columbian people. In this research we carried out a survey of the ant fauna in TPI and adjacent soils (control group) in three areas of Manaus, AM and in two areas of two Santarém, PA. A total of 183 species were collected by adding the two municipalities. The richest subfamilies were Myrmicinae (123 species), Ponerinae (22 species) and Formicinae (18 species). Comparing the richness between TPI soils and their respective controls of the two municipalities, there was no difference. Analyzing the similarity in the composition of ant communities between TPI soils and their controls in the city of Manaus, no significant similarity was observed ($p=0.7111$). Similarly, ant composition did not appear to be similar among soils of the same category ($p=0.5889$). In relation to the areas of Santarém, there was also no similarity in the composition of ants between TPI and control soils ($p = 0.6667$), not even among soils of the same category ($p = 0.3333$). Therefore, the hypothesis that the areas with TPI soil could present a characteristic composition of the fauna of ants was refuted. However, the absence of studies with Formicidae on TPI soils makes this work of great importance.

Key-words: Anthroposoil. Pre-Columbian. Macrofauna.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MAPA DAS ÁREAS AMOSTRADAS	16
FIGURA 2 –NÚMERO DE ESPÉCIES EXCLUSIVAS E COMPARTILHADAS ENTRE DAS ÁREAS DE ESTUDO	21
FIGURA 3 – GRÁFICO DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE MANAUS.....	22
FIGURA 4 – GRÁFICO DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE SANTARÉM	23
FIGURA 5 – COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DO LAGO GRANDE	23
FIGURA 6 – COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DA EMBRAPA	24
FIGURA 7 – COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DO CEPEAM	24
FIGURA 8 – COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DA ÁREA FT1.....	25
FIGURA 9 – COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DA ÁREA FT2.....	25
FIGURA 10 – ORDENAÇÃO NMDS DAS ÁREAS DE MANAUS.....	26
FIGURA 11 – ORDENAÇÃO NMDS DAS ÁREAS DE SANTARÉM	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DISTÂNCIA ENTRE AS ÁREAS DE COLETA	16
TABELA 2 – COORDENADAS DAS ÁREAS AMOSTRADAS	16
TABELA 3 – ESTIMATIVAS DA RIQUEZA DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE TPI E CONTROLE DAS ÁREAS DE MANAUS.....	21
TABELA 4 – ESTIMATIVAS DA RIQUEZA DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE TPI E CONTROLE DAS ÁREAS DE SANTARÉM.....	22
TABELA 5 – SIMILARIDADE DE COMPOSIÇÃO DE FAUNA EM RELAÇÃO A DUAS VARIÁVEIS CATEGÓRICAS: SOLOS IGUAIS E SOLOS PRÓXIMOS	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1	ÁREAS DE ESTUDO	15
2.2	AMOSTRAGEM	17
2.3	PROCESSAMENTO	17
2.4	ANÁLISES	18
2.4.1	Riqueza	18
2.4.2	Escalonamento NMDS	19
2.4.3	Teste de similaridade da composição de espécies	19
3	RESULTADOS	20
3.1	DADOS AMOSTRAIS GERAIS	20
3.2	ESTIMATIVA DE RIQUEZA PARA OS SOLOS DE TPI E CONTROLE	21
3.2.1	Curva de acumulação de espécies	22
3.2.2	Comparação de riqueza entre os solos	23
3.3	NMDS	25
3.4	TESTE DE SIMILARIDADE DE COMPOSIÇÃO ADONIS	27
4	DISCUSSÃO	28
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32
	ANEXO I – LISTA DE ESPÉCIES	37

1 INTRODUÇÃO

As formigas são insetos representados por uma única família, Formicidae, pertencente à ordem Hymenoptera (Hölldobler e Wilson, 1990). A monofilia da família é suportada pelas seguintes sinapomorfias: constrição do primeiro segmento metassomal, presença de glândula metapleurale e pós-faríngeal e a presença de uma casta de operárias (Baroni-Urbani, 1989). Segundo Brandão et al (2000), o grupo é o mais estudado entre os insetos sociais em relação à biologia e sistemática. Também são consideradas extremamente bem-sucedidas evolutivamente e com as mais complexas formas de comunicação química entre os animais (Hölldobler e Wilson, 1990).

Todas as espécies de formigas são eussociais, ou seja, possuem um grau de organização social bastante estruturado que é determinado por três características básicas: sobreposição de gerações, cuidado cooperativo com a prole e divisão do trabalho reprodutivo (Wilson, 1976). As únicas exceções são algumas espécies parasitas sociais que perderam a casta estéril secundariamente (Ward, 2006). Segundo Wilson e Hölldobler (2005), o comportamento social é, em grande parte, o responsável pela diversidade evolutiva e pela dominância ecológica das formigas. A eussocialidade confere vantagem na aquisição de recursos, na defesa contra inimigos e maximiza a procura por alimento (Ward, 2006; Hölldobler e Wilson, 1990).

A origem das formigas ocorreu no Cretáceo, há mais de 100 milhões de anos. Com o tempo, tornaram-se o grupo de insetos sociais mais diverso e abundante existente (Wilson e Hölldobler, 2005; Grimaldi e Engel, 2005). Atualmente são conhecidas aproximadamente 13.300 espécies, distribuídas em 335 gêneros e 17 subfamílias (Bolton, 2016). Para a região Neotropical, são conhecidas 13 subfamílias, 142 gêneros e 4.127 espécies/subespécies, das quais 1.827 são endêmicas. No Brasil, até o momento se conhecem 13 subfamílias, 111 gêneros e 1481 espécies/subespécies, das quais 529 são endêmicas (Antwiki, 2016).

Suas colônias são constituídas basicamente por uma (monoginia) ou mais (poliginia) rainhas (responsáveis pela produção de novos indivíduos) e pelas operárias (responsáveis pela manutenção da colônia). Os machos ocorrem apenas no período reprodutivo, no momento em que a colônia já atingiu um número estável de operárias, ou seja, sua maturidade. Após atingir a maturidade, a rainha inicia a postura de ovos

que originarão machos e fêmeas alados, que são aptos a realizar o voo nupcial e a se reproduzir. Os machos morrem após a reprodução e as fêmeas iniciam o processo de fundação de novas colônias (Hölldobler e Wilson, 1990).

Devido à ausência de asas nas operárias, o forrageamento ocorre no solo, na serapilheira e na vegetação herbácea e arbórea (Fowler et al., 1991). Em muitas espécies, as operárias fazem uma varredura ao redor do ninho em busca de alimento, se o recurso encontrado for abundante, ocorre, então, o recrutamento de mais operárias para destiná-lo até o ninho. Esta quantidade de operárias recrutadas depende da quantidade e qualidade do recurso encontrado (Hölldobler e Wilson, 1990), além do número de operárias na colônia. A maioria das espécies de formigas é detritívoras. Entretanto, existem diversas espécies predadoras generalistas e especialistas, granívoras, nectarívoras, oportunistas, generalistas etc. Há, ainda, formigas que cultivam fungos no interior do ninho para sua alimentação e também aquelas que praticam mutualismo com insetos sugadores de seiva, protegendo-os em troca de uma rica secreção liberada por eles, conhecida como “honeydew” (Ward, 2005; Hölldobler e Wilson, 1990).

De forma abundante, elas se distribuem em todos os ambientes terrestres, desde desertos a florestas tropicais, manguezais e campos abertos. Estão ausentes apenas nas regiões dos polos e em grandes altitudes acima de 2.400 m. A nidificação também é bastante diversa dentro de um mesmo ambiente, os ninhos podem ser construídos do dossel da floresta até grandes profundidades do solo (Ward, 2006).

O Brasil possui a maior diversidade de formigas do Continente Americano e uma das maiores do mundo (Antwiki, 2016, Bolton, 2016). Na Amazônia, estima-se que a biomassa de formigas seja quatro vezes maior que a biomassa de todos os vertebrados, incluindo pássaros, mamíferos, anfíbios e répteis juntos (Fittkau e Klinge, 1973). Segundo Delabie e Fowler (1995), cerca de 50% das formigas de florestas tropicais podem estar associadas à serapilheira e ao solo. Formicidae é um grupo com estreita relação com o solo, sendo o primeiro grupo de insetos sociais a viver e forragear nesse ambiente (Hölldobler e Wilson, 1990). Desta forma, é possível que alterações neste ambiente promovam mudanças na composição das comunidades, já que formigas são sensíveis a variações ambientais, conferindo a esses organismos também o status de bioindicadores (Hoffmann e Andersen, 2003).

Na Amazônia existem solos conhecidos como “Terra Preta de Índio” (TPI), “Terra Preta Amazônica” ou “Terra Preta Antropogênica”, que apresentam horizonte A Antrópico (Kämpf et al, 2003). Estes solos são formados em consequência da ocupação e atividade de povos Pré-Colombianos, sendo esta a teoria mais difundida (Woods e McCann, 2001). Tais solos apresentam grande quantidade de fragmentos arqueológicos, cerâmicos e líticos (Sombroek et al., 2002, Kern et al., 2004). Registros mostram que manchas de solo TPI são encontradas desde as encostas da Cordilheira dos Andes até a Ilha do Marajó – PA (Woods e McCann, 1999, Kern et al., 2003).

Com relação à fertilidade, os solos antropogênicos (TPI) comparados com os não antropogênicos (solo comum amazônico), demonstram-se mais férteis (Cunha et al, 2007), apresentando maior concentração de matéria orgânica na composição, pH mais alcalino e maior concentração de carbono e de outros cátions (fósforo, magnésio, cálcio, zinco e manganês) que os demais solos (Cunha, 2009). Os solos de TPI ainda apresentam uma alta capacidade de renovação de nutrientes, mesmo quando submetidos a um uso contínuo pela agricultura (Moreira et al, 2009)

Dados mostram que 80% das manchas de TPI encontradas na Amazônia possuem um tamanho menor que 2 ha, entretanto, algumas se estendem por mais de 100 ha. Já em relação à espessura, 57% possuem entre 30 e 60 cm, com poucos casos atingindo mais de 90 cm (Kern et al., 2004). As manchas de TPI podem cobrir uma área de 3,2% de toda a região Amazônica (McMichael et al., 2014). Como visto, estes solos variam de forma significativa em relação à profundidade, extensão, bem como às suas características físicas e químicas.

Levando-se em consideração estes aspectos e o fato de que pesquisas com macrofauna são praticamente ausentes neste tipo de solo (Cunha et al, 2016), este trabalho visa realizar um estudo das comunidades de formigas presentes em manchas de Terra Preta de Índio da região Amazônica e determinar se a composição das assembleias de formigas em TPI difere daquelas presentes em solo amazônico comum.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi verificar se áreas com solo de “Terra Preta de Índio” apresentam uma composição característica de formigas em relação a áreas adjacentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Reconhecer os gêneros e espécies de formigas presentes nas áreas coletadas.
- Criar uma coleção de referência das regiões amostradas que constitua uma base de dados para comparação em futuros estudos sobre outras áreas de TPI na região Amazônica.
- Aprofundar o conhecimento acerca do grupo foco do estudo (Hymenoptera, Formicidae) e habituar-se com as técnicas laboratoriais aplicadas no seu processamento.
- Familiarizar-se com a pesquisa e escrita científica

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREAS DE ESTUDO

As coletas foram realizadas nos municípios de Iranduba e Manaus, no estado do Amazonas e em Santarém no estado do Pará. Devido a uma questão de proximidade geográfica e facilitação das análises, as áreas de coleta de Iranduba (Figura 1. Pontos amarelo e preto) serão consideradas como Manaus daqui em diante. As amostragens ocorreram no período de 20 de abril a 01 de maio de 2015 (Manaus) e entre 17 e 25 de maio de 2015 (Santarém). Todas as áreas amostradas apresentavam solo TPI e solo adjacente comum amazônico, que neste trabalho será tratado como solo controle. Desta forma, as amostragens ocorreram nos dois tipos de solos de cada área, conforme as coordenadas da tabela 1. A distância entre os solos de TPI e controle variaram em no mínimo 270 m e no máximo 790 m, a menor distância entre as áreas se encontra na tabela 2. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima dos dois municípios é tropical Am, com temperatura média de 27.4 °C em Manaus e 25.9 °C em Santarém. A média anual de pluviosidade em Manaus é 2.145 mm e em Santarém 2.150 mm.

A cidade de Manaus localiza-se na região Norte do Brasil na convergência dos Rios Negro e Amazonas. A vegetação característica da região é de Floresta Amazônica. A estação chuvosa acontece de janeiro a maio e a seca entre junho e setembro, ocorrendo ainda entre outubro e dezembro um período de transição (Ríos-Velásquez, 2007). Nesta cidade foram realizadas amostragens em três áreas: No Campo Experimental do Caldeirão – Embrapa Amazônia Ocidental, na região das instalações do Centro de Projetos e Estudos Ambientais do Amazonas (CEPEAM) e em uma propriedade privada próximo a Embrapa (ver coordenadas na Tabela 2). As áreas de Manaus serão tratadas neste estudo respectivamente como Embrapa, CEPEAM e Lago Grande.

Santarém também se situa na região Norte, na margem direita do Rio Tapajós, onde este se encontra com o Rio Amazonas. A vegetação local é bastante heterogênea, sendo composta por Floresta Amazônica típica e campos (Valente, 2011). Neste município foram realizadas coletas em duas áreas da Floresta Nacional

do Tapajós (FLONA Tapajós), tratadas como FT1 e FT2 (ver coordenadas na Tabela 2).

FIGURA 1. MAPA DAS ÁREAS AMOSTRADAS. CADA PONTO ABRANGE DOIS LOCAIS COLETADOS (TPI E CONTROLE).

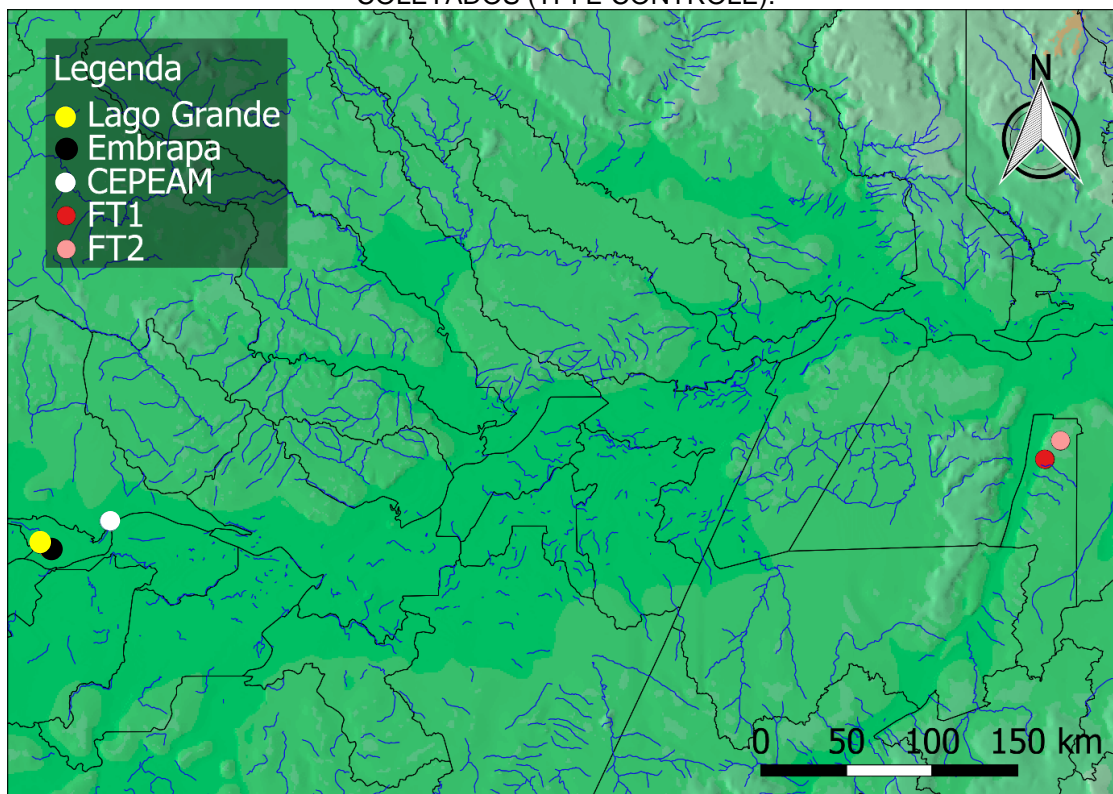


TABELA 1. DISTÂNCIA ENTRE AS ÁREAS DE COLETA.

Áreas	Distancia (Km)
Lago Grande - Embrapa	5
Lago Grande - CEPEAM	42
Embrapa - CEPEAM	44
FT1 - FT2	14

TABELA 2. COORDENADAS DAS ÁREAS AMOSTRADAS.

Área	Solo	Longitude	Latitude
Lago Grande	Controle	-3,22644825	-60,27352715
	TPI	-3,22998007	-60,26858122
Caldeirão	Controle	-3,24698705	-60,22477498
	TPI	-3,25223615	-60,22938787
CEPEAM	Controle	-3,10785198	-59,91166308
	TPI	-3,11290472	-59,90652467
FT1	Controle	-2,7840951	-54,99851947
	TPI	-2,78328213	-55,00130236
FT2	Controle	-2,6871492	-54,91719073
	TPI	-2,68487079	-54,91834456

2.2 AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada através de armadilhas de queda do tipo “*pitfall*” sem a utilização de isca. As armadilhas consistiam em um copo plástico (250 ml) enterrado com sua abertura nivelada com a superfície do solo, sem uma cobertura. Esses recipientes foram preenchidos com uma solução de água, sal e detergente até pouco menos da metade do volume total. Cada *pitfall* permaneceu no solo por um período de 48 horas, posteriormente o conteúdo foi armazenado em sacos plásticos devidamente identificados e contendo álcool absoluto. Para cada área foram instalados 40 *pitfalls*, sendo 20 em TPI e 20 no solo controle. Os *pitfalls* foram dispostos de maneira a melhor amostrar a área, com um espaçamento mínimo de 10 m entre eles, afim de serem independentes. Ao total, foram utilizadas 120 armadilhas em Manaus, e 80 em Santarém.

2.3 PROCESSAMENTO

O material coletado foi previamente processado em Manaus e Santarém durante o período de coleta. Nesta etapa as formigas foram separadas de fragmentos de terra, vegetais e outros artrópodes. O restante do processamento ocorreu no Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas do Setor de Ciências Biológicas, localizado no Campus Centro Politécnico da UFPR. Todos os procedimentos a seguir foram realizados sob um estereomicroscópio LEICA S8APO com o emprego de outros materiais básicos de laboratório.

A primeira etapa do processamento se deu pela morfoespecação, separação de réplicas e montagem das formigas. O procedimento de morfoespecação, neste caso, é caracterizado pela separação das formigas em grupos (morfoespécies) de acordo com suas semelhanças morfológicas. Esse procedimento ocorre ainda em álcool com auxílio de uma placa de Petri e pinças. Após a morfoespecação, foram separadas réplicas de cada morfoespécie em frascos individualizados. Em seguida, alguns exemplares (no mínimo um) de cada morfoespécie eram separados para a montagem, que consiste na colagem da formiga (utilizando cola branca a base de água) na ponta de um triangulo de papel, espetado por um alfinete entomológico.

Após a montagem das formigas, todas foram rotuladas com dados específicos de coleta. Com as formigas rotuladas, iniciou-se o processo de identificação. Esta etapa ocorreu com o auxílio de chaves de identificação para gêneros e posteriormente espécies, disponíveis na literatura. Os vouchers encontram-se depositados na Coleção Entomológica Padre Jesus Santiago Moure (DZUP) da Universidade Federal do Paraná.

2.4 ANÁLISES

Após o material ser identificado, criou-se uma tabela matriz com dados de presença e ausência de espécie através do *software* Microsoft Office Excel v. 2014. Através dos dados desta matriz geral e de outras derivadas, foram executadas análises e testes estatísticos por meio da plataforma R Project (versão 3.3.1). Os pacotes utilizados para as análises foram: Vegan, MASS, Stringr e iNEXT. O intervalo de confiança utilizado para as análises de riqueza e composição de espécies foi de 95%.

2.4.1 Riqueza

A partir dos dados gerais da matriz de presença e ausência de espécies foram construídas outras quatro matrizes. Uma matriz somente com os dados de presença e ausência referentes aos solos de TPI para as três áreas de Manaus e outra somente com os dados dos solos controle. Da mesma forma, criou-se duas matrizes para as áreas de Santarém. Com isso, foram geradas duas curvas de acumulação de espécies para cada município, uma para os solos TPI e outra para os solos controle. Com as mesmas matrizes de presença e ausência de espécies descritas anteriormente, foi efetuada a estimativa de riqueza de espécies para as áreas de TPI e controle dos dois municípios. Para isso foram utilizados os estimadores não paramétricos Chao1, Jackknife1, Jackknife2 e Bootstrap. O estimador Chao1 se baseia no número de espécies com apenas um indivíduo ou com dois indivíduos (singletons e doubletons) nas amostras. O Jackknife 1 executa a estimativa com base nas espécies que ocorrem unicamente em uma das amostras (uniques). O Jackknife2, além de considerar as *uniques*, também toma como referência as espécies que ocorrem em duas amostras

(duplicates). O Bootstrap traz uma estimativa mais complexa que as anteriores, baseando-se no número total de espécies e não se restringindo somente às raras (Zanzini 2005). Para comparar a riqueza entre os solos foi criada uma tabela com a frequência de espécies para cada área coletada, considerando a área e não o *pitfall* como unidade amostral. Através destes dados, foi realizada uma rarefação para cada área dos dois municípios, comparando a riqueza do solo TPI com seu respectivo controle.

2.4.2 Escalonamento NMDS

Primeiramente criou-se uma matriz de distância entre os pontos através do comando *vegdist*. O índice de similaridade utilizado foi o de Morisita, devido a sua característica de retirar o efeito da superdominância de espécies com alta frequência (Wolda, 1981). Uma ordenação NMDS foi criada para cada município. As tabelas usadas foram construídas de modo a considerar as áreas como unidade amostral, com suas respectivas frequências de espécies. O escalonamento NMDS foi utilizado para averiguar de forma gráfica a similaridade entre os pontos de coleta. Para a elaboração da ordenação MDS, os argumentos utilizados foram: $k=2$ para Santarém e $k=3$ para Manaus, limitando a ordenação em duas e três dimensões respectivamente, e $maxit=1000$, referente ao número máximo de interações.

2.4.3 Teste de similaridade da composição de espécies

A determinação da similaridade de composição entre as categorias analisadas foi efetuada por meio do teste Adonis para cada município. As tabelas utilizadas foram as mesmas do item anterior. Assim como no escalonamento NMDS, uma matriz de distância foi gerada a partir da função *vegdist*, com o índice de similaridade Morisita. Para a execução do teste, criou-se duas variáveis categóricas: uma representando os solos do mesmo tipo denominada “Solos iguais”, onde comparou-se a similaridade de composição de espécies entre solos da mesma categoria e outra chamada “Solos próximos”, onde comparou-se a similaridade entre os solos TPI e seus respectivos controles.

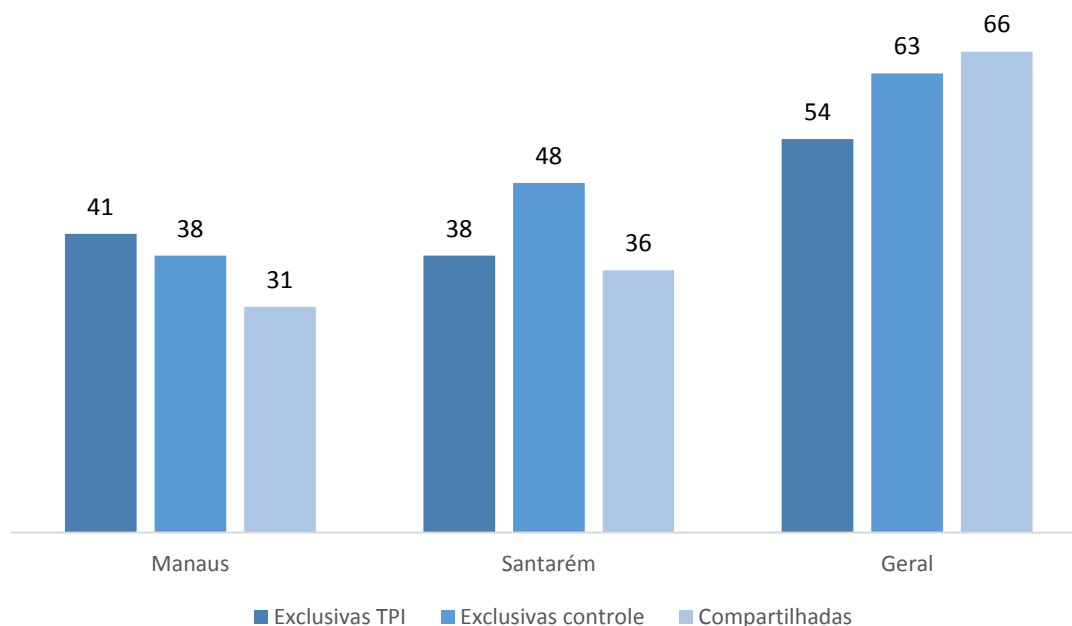
3 RESULTADOS

3.1 DADOS AMOSTRAIS GERAIS

Somando as amostragens realizadas entre todas as áreas de Manaus e Santarém, foi coletado um total de 183 espécies de formigas, distribuídas em 42 gêneros, pertencentes a 7 subfamílias (Anexo I). Myrmicinae foi a subfamília que apresentou o maior número de espécies, com 123 espécies em 18 gêneros (Tabela 1). Seguida por Ponerinae com nove gêneros e 22 espécies, Formicinae com cinco gêneros e 18 espécies, Dolichoderinae com quatro gêneros e nove espécies, Ectatomminae com dois gêneros e sete espécies, Dorylinae com três gêneros e três espécies, e Pseudomyrmecinae com um gênero e uma espécie. Do total de 183 espécies, 54 estavam associadas exclusivamente ao solo de TPI e 63 associadas exclusivamente ao solo controle, com um compartilhamento de 66 espécies entre as duas categorias de solos. As identificações ao nível específico foram possíveis para 65 espécies. Os gêneros que apresentaram maior riqueza de espécies foram: *Pheidole* (47 espécies), *Crematogaster* (14 espécies), *Solenopsis* (14 espécies) e *Trachymyrmex* (12 espécies).

Em Manaus foram amostradas 110 espécies somando as três áreas de TPI e seus controles. Destas 110 espécies, 72 foram amostradas nos solos TPI, sendo que 41 foram coletadas exclusivamente neste tipo de solo. Nos solos controle foram amostradas 69 espécies, sendo 38 exclusivas. Houve um compartilhamento de 31 espécies entre TPI e controle (Figura 2). A amostragem em Santarém resultou em um total de 122 espécies, somando as coletadas em solo TPI e solo controle. Destas, 74 estavam presentes nos solos de TPI, sendo que 38 foram coletadas exclusivamente neste tipo de solo. Foram coletadas no total 84 espécies no controle, sendo 48 exclusivas. Entre os dois tipos de solos, verificou-se um compartilhamento de 36 espécies. Comparando as espécies exclusivas entre as duas cidades, Manaus apresentou 61 espécies exclusivas e Santarém 73.

FIGURA 2. NÚMERO DE ESPÉCIES EXCLUSIVAS E COMPARTILHADAS ENTRE OS SOLOS DAS ÁREAS DE ESTUDO.



3.2 ESTIMATIVA DE RIQUEZA PARA OS SOLOS DE TPI E CONTROLE

De acordo com os estimadores de riqueza (Tabela 2), a coleta realizada nos solos de TPI de Manaus obteve uma eficiência de amostragem entre 42% (Chao1) e 82% (Bootstrap). Já para os solos controle, a amostragem correspondeu de 43% (Chao1) a 81% (Bootstrap) do total. As estimativas de riqueza de espécies nos solos de TPI de Santarém (Tabela 3) ficaram entre 56% (Chao1) e 81% (Bootstrap). Para os solos controle, a efetividade de amostragem variou entre 52% (Chao1) e 81% (Bootstrap).

TABELA 3. ESTIMATIVAS DA RIQUEZA DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE TPI E CONTROLE DAS ÁREAS DE MANAUS.

Solo	Estimador de riqueza	Estimativa de espécies	Espécies coletadas
TPI	Chao1	170	42%
	Jackknife1	111	65%
	Jackknife2	143	50%
	Bootstrap	88	82%
Controle	Chao1	161	43%
	Jackknife1	109	63%
	Jackknife2	140	49%
	Bootstrap	85	81%

TABELA 4. ESTIMATIVAS DA RIQUEZA DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE TPI E CONTROLE DAS ÁREAS DE SANTARÉM.

Solo	Estimador de riqueza	Estimativa de espécies	Espécies coletadas
TPI	Chao1	131	56%
	Jackknife1	115	64%
	Jackknife2	141	52%
	Bootstrap	91	81%
Controle	Chao1	162	52%
	Jackknife1	132	64%
	Jackknife2	164	51%
	Bootstrap	104	81%

3.2.1 Curva de acumulação de espécies

As curvas de acumulação de espécies (Figura 3 e 4) para os dois tipos de solos, nas duas cidades coletadas não apresentaram uma tendência à estabilização, ou seja, a assíntota da curva ainda está distante de ser atingida. As extrapolações das curvas de Manaus apontam para um total de aproximadamente 100 espécies em cada tipo de solo. Para Santarém, aproximadamente 120 espécies entre os controles e 100 para TPI. Entretanto, nem mesmo as extrapolações apresentaram uma tendência de estabilização.

FIGURA 3. GRÁFICO DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE MANAUS. LINHA CONTÍNUA: CURVA DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO.

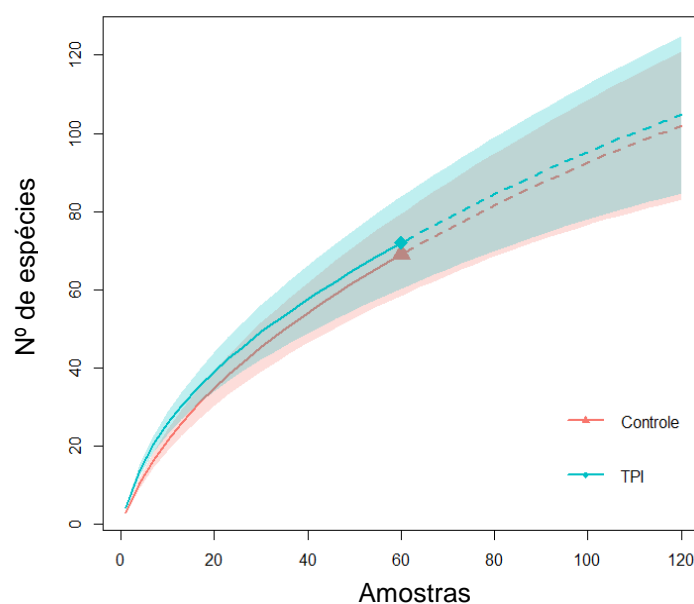
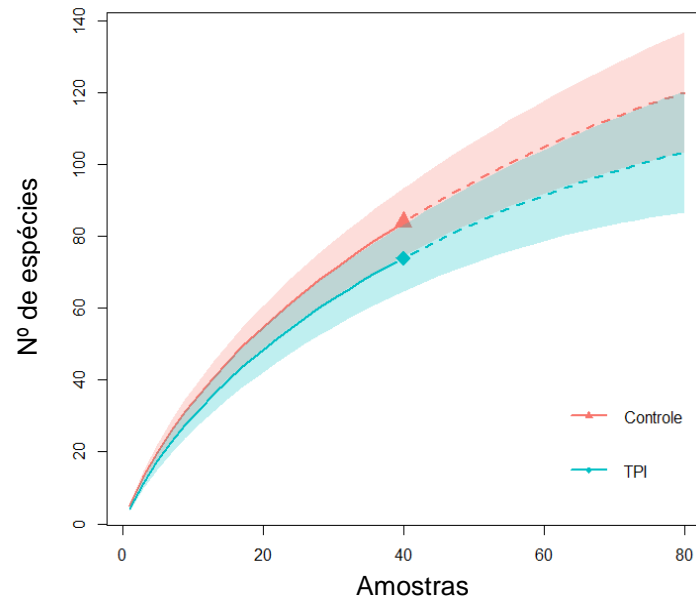


FIGURA 4. GRÁFICO DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES DOS SOLOS DE SANTARÉM. LINHA CONTÍNUA: CURVA DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO.



3.2.2 Comparação de riqueza entre os solos

Comparou-se a riqueza de espécies entre os solos de cada área. Para as áreas de Manaus, não se verificou diferença real na riqueza entre os dois tipos de solo. Nas três áreas, a curva média da riqueza de um solo se sobrepõe ao intervalo de confiança do outro tipo. Entre os solos das duas áreas de Santarém também não se constatou uma diferença real de riqueza.

FIGURA 5. COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DO LAGO GRANDE. LINHA CONTÍNUA: CURVA MÉDIA. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO. CONTORNO: DESVIO PADRÃO.

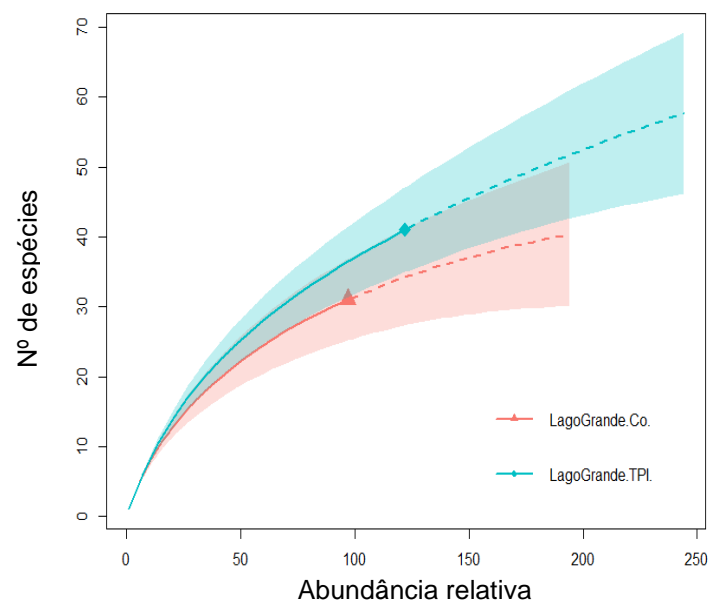


FIGURA 6. COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DA EMBRAPA. LINHA CONTÍNUA: CURVA MÉDIA. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO. CONTORNO: DESVIO PADRÃO.

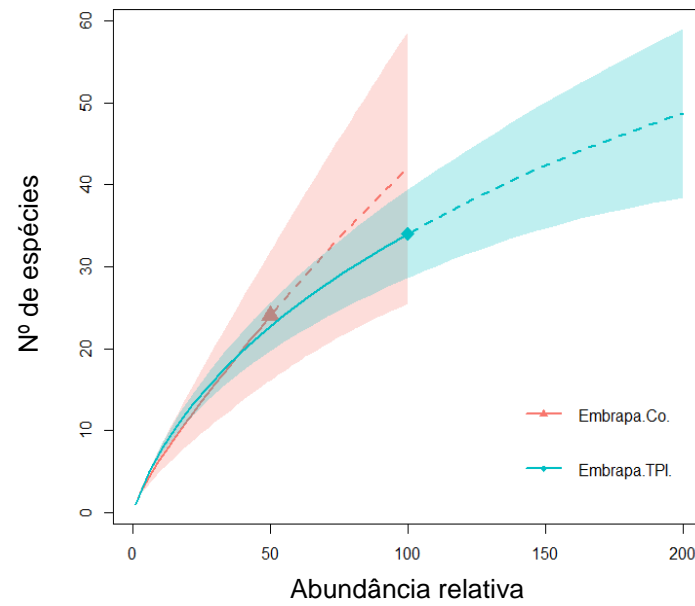


FIGURA 7. COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DO CEPEAM. LINHA CONTÍNUA: CURVA MÉDIA. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO. CONTORNO: DESVIO PADRÃO.

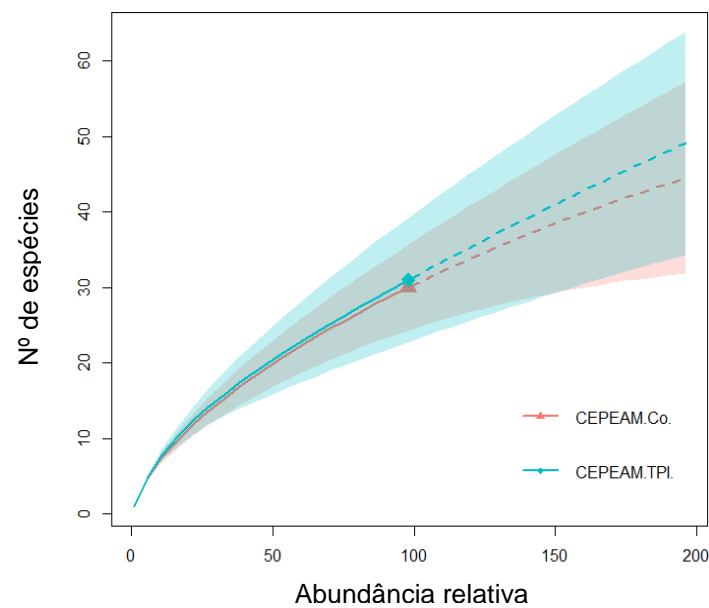


FIGURA 8. COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DA ÁREA FT1. LINHA CONTÍNUA: CURVA MÉDIA. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO. CONTORNO: DESVIO PADRÃO

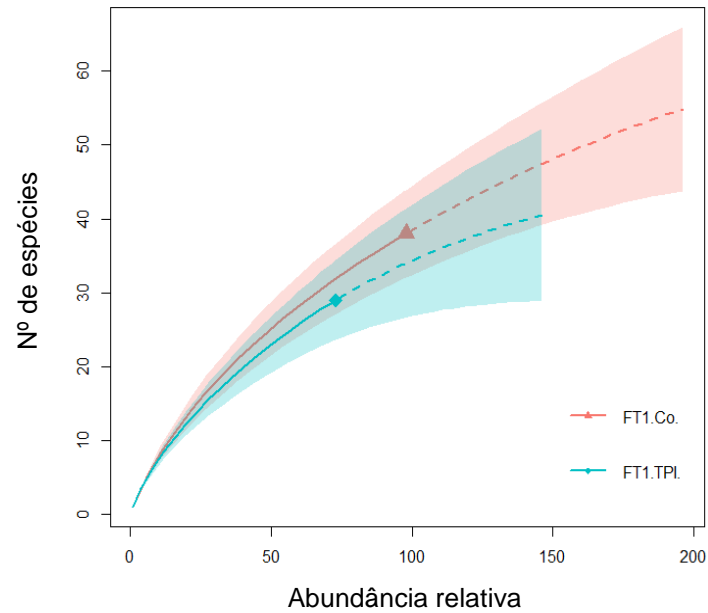
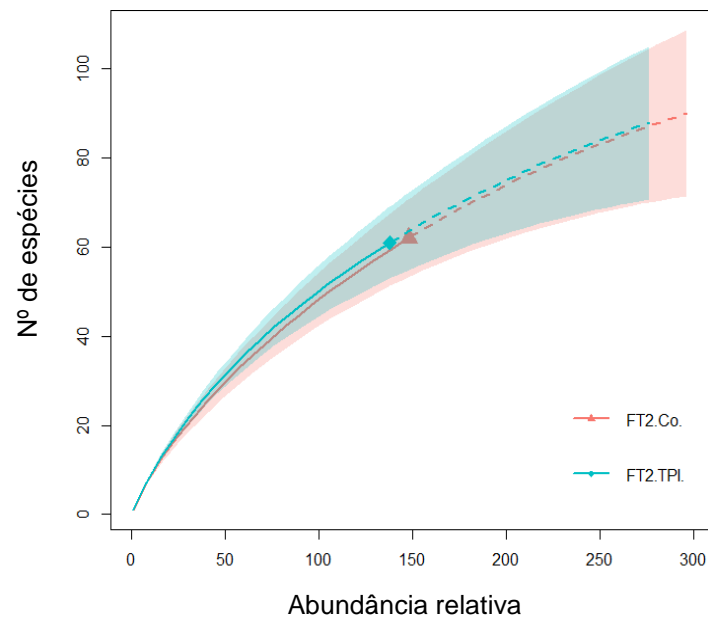


FIGURA 9. COMPARAÇÃO DE RIQUEZA ENTRE OS SOLOS DA ÁREA FT2. LINHA CONTÍNUA: CURVA MÉDIA. LINHA TRACEJADA: EXTRAPOLAÇÃO. CONTORNO: DESVIO PADRÃO



3.3 NMDS

A ordenação NMDS realizada para Manaus (Figura 3) resultou em um valor de stress de $4.347311e-14$. Não houve agrupamento dos pontos em relação ao tipo de solo ou a proximidade entre os pontos, no caso, do TPI com seu respectivo

controle. Para Santarém o escalonamento (Figura 4) apresentou um valor de stress de $1.262263e-14$. Também não houve nenhum tipo de agrupamento entre os pontos.

FIGURA 10. ORDENAÇÃO NMDS DAS ÁREAS DE MANAUS. PONTOS PRETOS REPRESENTAM ÁREAS DE TPI, PONTOS VERMELHOS ÁREAS CONTROLE.

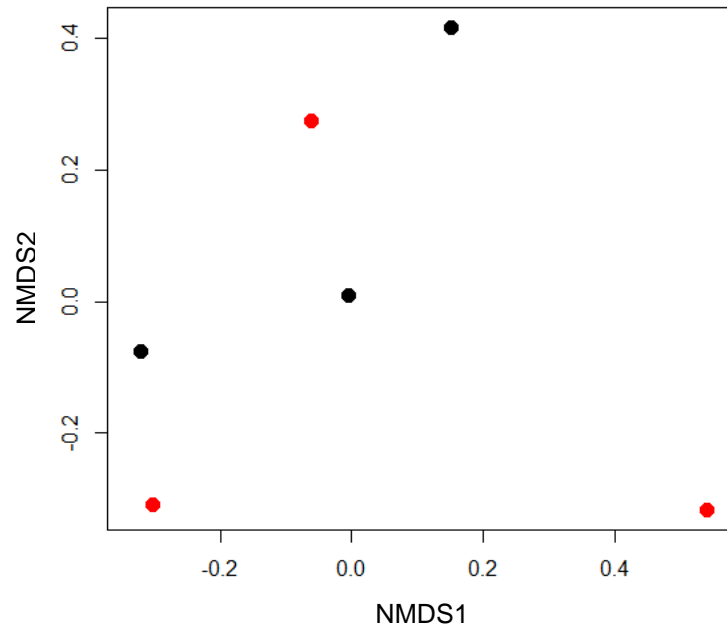
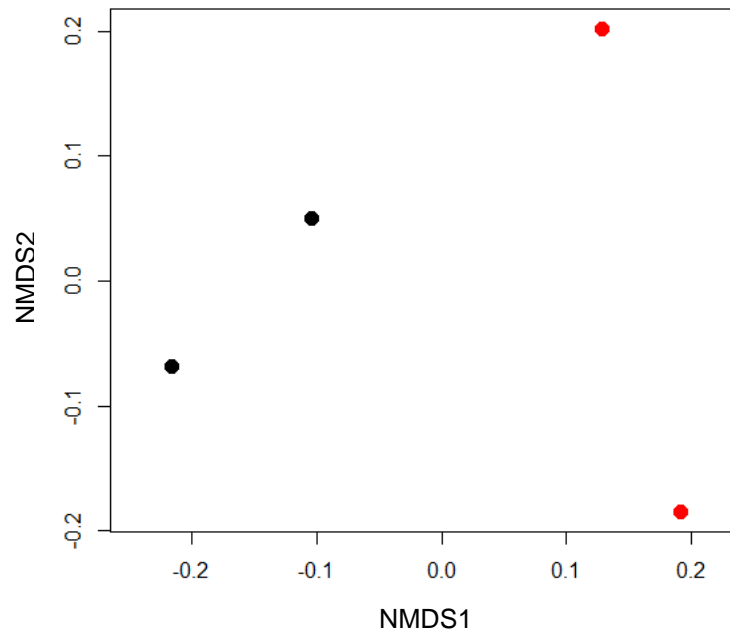


FIGURA 11. ORDENAÇÃO NMDS DAS ÁREAS DE SANTARÉM. PONTOS PRETOS REPRESENTAM ÁREAS DE TPI, PONTOS VERMELHOS ÁREAS CONTROLE.



3.4 TESTE DE SIMILARIDADE DE COMPOSIÇÃO ADONIS

Para Manaus, a composição de espécies dos solos de mesma categoria não apresentou similaridade significativa (Solos iguais $p = 0.5889$). Da mesma forma, não se observou similaridade de composição de espécies entre os dois tipos de solo da mesma área (Solos próximos $p = 0,7111$). Também não se constatou similaridade para Santarém, comparando a composição de espécies entre solos de mesma categoria (Solos iguais = 0,3333) e entre os dois tipos de solos de cada área (Solos próximos $p = 0,6667$).

TABELA 5. SIMILARIDADE DE COMPOSIÇÃO DE FAUNA EM RELAÇÃO A DUAS VARIÁVEIS CATEGÓRICAS: SOLO IGUAIS E SOLOS PRÓXIMOS.

Cidade	Categorias de comparação	R²	p
Manaus	Solos Próximos	0,16589	0,7111
	Solos Iguais	0,17921	0,5889
Santarém	Solos Próximos	0,34011	0,6667
	Solos Iguais	0,55672	0,3333

4 DISCUSSÃO

Pesquisas acerca da biodiversidade animal, mais especificamente sobre a macrofauna de invertebrados em solos de TPI, são escassas na literatura até o presente momento (Cunha et al, 2016). Poucos estudos foram publicados como artigos científicos em revistas (Soares, et al. 2014, Cunha, et al. 2016), com a grande maioria disponível apenas como resumos de participações em congressos (Antony e van Roy, 2002, Antony et al, 2004, Antony, 2005, Silva et al, 2009) e outros vinculados a projetos de Iniciação Científica (Senra, et al, 2004; d'Amorin et. al., 2007). Até o desenvolvimento deste trabalho, o único artigo publicado que possui informações sobre formigas em áreas de TPI, incluindo ainda diversos outros táxons, é o de Soares (2014), tendo como parte dos resultados um levantamento taxonômico da macrofauna de duas áreas de TPI e outra área adjacente com latossolo. Porém, este trabalho não traz informações mais aprofundadas sobre os táxons estudados, com a identificação feita apenas no nível das categorias de classe ou ordem.

Em relação à diversidade total encontrada, a subfamília com o maior número de espécies amostradas foi Myrmicinae, seguida por Ponerinae, Formicinae e Dolichoderinae. As quatro subfamílias estão entre as mais ricas em Formicidae, e se distribuem amplamente pela região Neotropical (Ward et al., 2015). Somando as espécies descritas das quatro subfamílias até o momento, elas compreendem mais de 80% de toda a fauna conhecida de formigas (Bolton, 2016). Desta forma, era esperado que elas fossem as mais amostradas. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos realizados em áreas de floresta Amazônica (Majer e Delabie 1994; De Almeida, 2005; Souza, 2009) onde estas subfamílias também estão entre as mais amostradas.

Pode se considerar que Myrmicinae é a subfamília mais bem-sucedida entre todas as demais subfamílias de Formicidae (Ward et al, 2015). Sua dominância pode ser explicada pela vasta gama de estratégias alimentares, incluindo predadoras generalistas ou especialistas, detritívoras, granívoras, herbívoras e onívoras (Fowler et al 1991; Kugler, 1979; Brown, 2000). A subfamília compreende aproximadamente 50% de todas as espécies de Formicidae (Bolton, 2016), com isso, os resultados obtidos em relação a Myrmicinae estão de acordo com o que se espera pela literatura, entre todas as espécies coletadas nos dois municípios, 67% fazem deste grupo.

Quanto aos gêneros amostrados, *Pheidole* foi o que apresentou o maior número de espécies, compreendendo 25% do total amostrado. Este gênero é considerado um dos mais amplamente distribuídos do mundo (Jaffé, 1993); além disso, é também um dos mais ricos em número de espécies (Wilson, 1976; Bolton, 2016). *Pheidole* é classificado como hiperdiverso, com grande dominância em regiões tropicais, especialmente no solo, sendo também o maior em abundância de colônias e biomassa nestas regiões (Wilson, 2003). Da mesma forma, *Pheidole* aparece como o gênero mais rico em outros estudos realizados na Amazônia, com 44 espécies amostradas em um período de oito meses (Baccaro et al, 2011) e 63 espécies coletadas num período de 12 anos em Manaus (Benson e Harara, 1988).

Solenopsis e *Crematogaster* aparecem em seguida, ambos com 14 espécies cada. O gênero *Solenopsis*, compreende um grande número de predadoras epigéicas, em sua grande parte generalistas e com grande distribuição (Soares et al 2010). *Crematogaster* é um gênero amplamente distribuído, com a maioria de suas espécies ocorrendo nas florestas tropicais (Hölldobler e Wilson, 1990). A grande maioria das espécies é arbórea, entretanto, também nidificam no solo e serapilheira (Baccaro et al, 2015; Blaimer, 2012) o que pode explicar o grande número de espécies coletadas. Sobretudo, pode se dizer que a presença destes gêneros já era esperada, visto que ocorrem de forma vasta na região Neotropical, com aproximadamente 60 espécies de *Crematogaster* e 161 de *Solenopsis*. (Wilson, 1976; Majer e Delabie, 1994; Baccaro et al, 2015).

Trachymyrmex foi o quarto gênero mais coletado com 12 espécies, considerando que no Brasil ocorrem 19 (Baccaro et al, 2015) a amostragem foi relativamente expressiva. As espécies de *Trachymyrmex* caracterizam-se por serem cultivadoras de fungos (Weber, 1956). A nidificação ocorre no solo, geralmente em florestas úmidas ou savanas (Suguituru et al, 2015). Necessitam de condições adequadas de umidade, temperatura e sombreamento, além disso, as espécies de *Trachymyrmex* estão fortemente ligadas aos microhabitats fornecidos unicamente pela serapilheira para seu forragemento. (Fowler et al, 1991). Portanto, devido a forte ligação deste gênero com o solo, provavelmente seja este o motivo da grande ocorrência destas espécies na amostragem.

Sobre a riqueza de espécies, Manaus apresentou um maior número de espécies coletadas exclusivamente no solo de TPI em relação à Santarém. O que

pode ter ocorrido devido ao número de *pitfalls* empregados em Manaus ter sido maior que em Santarém. Entretanto, resultado semelhante já foi observado por d'Amorin (2007) que coletou 25 espécies de formigas entre oito áreas de solo TPI e solo adjacente, com oito espécies exclusivas nas áreas de TPI e seis nas adjacentes. O autor atribuiu o resultado à maior abundância de invertebrados encontrada em TPI. Comparando as curvas de riqueza de espécies entre os dois tipos de solo, não se observou uma diferença real para nenhuma área. Vasconcelos (2010) demonstra que o gradiente latitudinal de precipitação tem grande influência na variação de riqueza de espécies de formiga na Amazônia. Como a latitude das áreas comparadas é relativamente próxima, é possível que este fator tenha atuado como um nivelador de riqueza. Outro fator que tem influência direta na riqueza de espécies é nível de perturbação antrópica sobre a floresta (Vasconcelos, 1998), entretanto estes dados não foram apurados para as áreas do estudo.

As curvas de acumulação de espécies geradas para as áreas de TPI e controle dos dois municípios não apresentaram tendência à estabilização. Segundo Keating & Quinn (1998), isso ocorre porque muitas espécies presentes nos locais de amostragem não são capturadas. Miranda (2012) demonstra duas situações de amostragem de formigas na floresta Amazônica do Acre; em uma área, a coleta foi realizada durante 3,5 anos com um esforço de 2400 *pitfalls* instalados, de forma que a curva de acumulação resultante atingiu a assíntota; em outra área; o esforço amostral foi de 360 *pitfalls* durante dois meses, de forma que a curva gerada não se aproximou da estabilização. Desta forma, pode se dizer que, se o objetivo do estudo fosse coletar todas as espécies das áreas estudadas, o esforço amostral empregado poderia ter sido considerado insuficiente; contudo para fins de comparação, os resultados aqui observados são perfeitamente aceitáveis, especialmente pelo fato de que áreas de floresta tropical estão entre as mais ricas em espécies de formigas e levantamentos nestas regiões não geram curvas que tendem à estabilização (Dunn et al., 2009).

Em relação as análises de composição das comunidades de formigas, os escalonamentos NMDS e o teste Adonis mostraram que não se verifica uma fauna característica entre os solos de TPI. Da mesma forma, a fauna de formigas dos solos controle também não se assemelha significativamente. Mesmo entre os solos TPI e seus respectivos controles, que se localizam relativamente próximos, não se verificou

semelhança na composição de espécies. A grande variação nas comunidades de formiga entre as áreas analisadas pode ser reflexo da grande diversidade de formigas encontrada na região Amazônica, sendo uma das regiões com maior diversidade de formigas do mundo (Penny e Arias, 1982; Wilson, 1987; Dun et al, 2009). Deste modo, mesmo as áreas próximas podem apresentar diferença significativa na composição de formigas. Este fenômeno já foi observado por Vasconcelo (1998), que coletou formigas em nove áreas da Amazônica Central e encontrou uma variação significativa na composição de espécies em áreas relativamente próximas.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho representa um grande progresso para o entendimento da dinâmica das comunidades de formigas em manchas de TPI. Como este é o primeiro estudo que relaciona Formicidae com esses solos singulares da região Amazônica de forma mais aprofundada, um dos objetivos foi fazer um levantamento de fauna e gerar uma lista de espécies das áreas amostradas; além de submeter os dados a análises estatísticas para responder questões acerca dos padrões de riqueza e diversidade de formigas nas áreas pesquisadas. O objetivo geral, construído no início desta pesquisa, levantava a hipótese de haver uma composição de espécies de formigas característica nas áreas com solo formado por TPI. Durante o progresso do trabalho e com os resultados das análises, verificou-se que a hipótese foi refutada. Os resultados mostram que não há semelhança significativa na composição das comunidades de formigas entre os agrupamentos analisados. Isso pode ter ocorrido devido a alta diversidade de espécies de formigas encontrada nas regiões estudadas. Entretanto, é válido ressaltar que existem poucos dados na literatura acerca de Formicidae, ou até mesmo invertebrados em áreas com TPI, o que limita a comparação dos dados obtidos nesta pesquisa com dados de outros estudos. Desta forma, talvez a maior contribuição desse projeto está no seu caráter pioneiro em estudos ecológicos de formigas em manchas de Terra Preta de Índio.

REFERÊNCIAS

- ANTCAT. An Online Catalog of the Ants of the World. Disponível em: <<http://www.antcat.org/>> acessado: 25/10/16
- ANTONY L. M. K. A fauna de invertebrados dos solos de Terra Preta de Índio. **XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Solos, Sustentabilidade e Qualidade Ambiental, Recife**. 2005.
- ANTONY, L. M. K.; VAN ROY, V. M. A. Invertebrados como Indicadores de Conservação do Solo no Sistema "Terra Preta de Índio". **Fertbio**. 2004.
- ANTONY, L. M. K.; VAN ROY, V. M. A. Invertebrados do solo de Terra Preta Arqueológica no Município de Manacapuru, Amazonas, Brasil. In: **Resumos do 19 Congresso Brasileiro de Entomologia, Manaus**. 2002. p. 16-21.
- ANTWIKI. Disponível em: <http://www.antwiki.org/wiki/Diversity_by_Country> acessado: 25/10/16
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNÁNDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. R. C. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. **Ed. INPA, Manaus, Brazil**, 2015.
- BACCARO, F. B.; KETELHUT, S. M.; MORAIS, J. W. Efeitos da distância entre iscas nas estimativas de abundância e riqueza de formigas em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 115-122, 2011.
- BENSON, W.; HARADA, A. Y. Local diversity of tropical and temperate ant faunas (Hymenoptera, Formicidae). **Acta Amazonica**, v. 18, n. 3-4, p. 275-289, 1988.
- BLAIMER, B. B. Acrobat ants go global—Origin, evolution and systematics of the genus *Crematogaster* (Hymenoptera: Formicidae). **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 65, n. 2, p. 421-436, 2012.
- BOLTON, B. AntCat. An online catalog of the ants of the world. 2012.
- BRANDÃO, C. R. F.; CANCELLO, E. M.; YAMAMOTO, C. I. Avaliação do estado do conhecimento da diversidade biológica do Brasil. **Invertebrados terrestres—versão preliminar**, p. 1-38, 2000.
- BROWN JR, W. L. Diversity of ants. **Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity**, p. 45-79, 2000.
- CUNHA, L.; BROWN, G. G.; STANTON, D. W.; DA SILVA, E.; HANSEL, F. A.; JORGE, G.; JAMES, S. W. Soil Animals and Pedogenesis: The Role of Earthworms in Anthropogenic Soils. **Soil Science**, v. 181, n. 3/4, p. 110-125, 2016.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. D. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. D. O.; SANTOS, G. D. A. Fracionamento químico da matéria

orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amaz**, v. 37, p. 91-98, 2007.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. D. M.; SANTOS, G. D. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 85-93, 2009.

D'AMORIM, L. M. M. K.; SALES, R. S. Biodiversidade e dinâmica da macrofauna edáfica da terra preta de índio em sítios da Amazônia Central. **Resumo da XVI Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq/FAPEAM/INPA**, 2007.

DE ALMEIDA, W. R. Riqueza e abundância de formigas e aranhas de vegetação em baixios e platôs em uma área de floresta de terra firme na Amazônia central, 2005. Disponível em: <<https://www.inpa.gov.br/pdbff/cursos/efa/livro/2005/pdfs/rlfwla>> Acessado: 06/11/2016.

DE ALMEIDA SOARES, S.; ANTONIALI-JUNIOR, W. F.; LIMA-JUNIOR, S. E. Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera, Formicidae) em dois ambientes no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, n. 1, p. 76-81, 2010.

DELABIE, J. H.; FOWLER, H. G. Soil and litter cryptic ant assemblages of Bahian cocoa plantations. **Pedobiologia**, v. 39, n. 5, p. 423-433, 1995.

DUNN, R. R.; AGOSTI, D.; ANDERSEN, A. N.; ARMAN, X.; BRUHL, C. A.; CERDÁ, X.; GOTELLI, N. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. **Ecology letters**, v. 12, n. 4, p. 324-333, 2009.

FITTKAU, E. J.; KLINGE, H. On biomass and trophic structure of the central Amazonian rain forest ecosystem. **Biotropica**, p. 2-14, 1973.

FOWLER, H. G.; FORTI, L. C.; BRANDÃO, C. R. F., DELABIE, J. H. C.; VASCONCELOS, H. L. Ecologia nutricional de formigas. **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**, p. 131-223, 1991.

GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. **Evolution of the Insects**. Cambridge University Press, 2005.

HOFFMANN, B. D.; ANDERSEN, A. N. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. **Austral Ecology**, v. 28, n. 4, p. 444-464, 2003.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The ants**. Harvard University Press, 1990.

JAFFE, K.; PÉREZ, P. **Mundo de las hormigas**. Equinoccio, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, 1993.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; ALVAREZ, V. V. H. Argilominerais em solos brasileiros. **Tópicos em Ciência do Solo. VIII** p. 1-54, 2003.

KEATING, K. A.; QUINN, J. F. Estimating species richness: the Michaelis-Menten model revisited. **Oikos**, p. 411-416, 1998.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SAMBROEK, W.; MYERS, T. P.; NEVES, E. G. Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: **Amazonian Dark Earths**. Springer Netherlands, p. 51-75, 2003.

KERN, D. C.; DA COSTA, M. L.; FRAZÃO, F. J. L. Evolution of the scientific knowledge regarding archaeological black earths of Amazonia. In: **Amazonian dark earths: explorations in space and time**. Springer Berlin Heidelberg, p. 19-28, 2004.

KUGLER, C. Evolution of the sting apparatus in the myrmicine ants. **Evolution**, p. 117-130, 1979.

MAJER, J. D.; DELABIE, J. H. C. Comparison of the ant communities of annually inundated and terra firme forests at Trombetas in the Brazilian Amazon. **Insectes Sociaux**, v. 41, n. 4, p. 343-359, 1994.

MCMICHAEL, C. H.; PALACE, M. W.; BUSH, M. B.; BRASWELL, B. HAGEN, S.; NEVES, E. G.; CZARNECKI, C. Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1777, p. 20132475, 2014.

MIRANDA, P. N.; OLIVEIRA, M. A.; BACCARO, F. B.; MORATO, E. F.; DELABIE, J. H. C. Check list of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) of the eastern Acre, Amazon, Brazil. **Check List**, v. 8, n. 4, p. 722-730, 2012.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em Terra Preta de Índio da Amazônia Central. **Ciencia del Suelo**, v. 27, n. 1, 2009.

PENNY, N. D.; ARIAS, J. R. Insects of an Amazon forest. **Columbia University Press**, 1982.

SENRA, T. V.; ANTONY, L. M. K. Biodiversidade de Invertebrados dos solos de Terra Preta de Índio na Amazônia Central. **XIII Jornada de Iniciação Científica, Manaus. Resumos**. p. 173-174. 2004.

SILVA A.R. Estrutura e função da comunidade de invertebrados edáficos em sítios de terra preta de índio e solos adjacentes na Amazônia central. **Anais da 61ª. Reunião Anual da SBPC, Amazônia Ciência e Cultura, Manaus**. 2009.

SOARES, M. A. M.; ANTONY, L. M. M.; VAN ROY, M.; NOGUEIRA, L. B. NERY, U. R. S. Invertebrados edáficos em sítios de terra preta de índio e solos adjacentes na Amazônia Central. **REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM**, v. 5, n. 1, 2014.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; DA SILVA, C. M.; CUNHA, J. T.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta and Terra Mulata: pre-Columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. In: **17th World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand. 2002.**

SOUZA, J. L. P. Avaliação do esforço amostral, captura de padrões ecológicos e utilização de taxa substitutos em formigas (Hymenoptera, Formicidae) de serrapilheira com três métodos de coleta na Floresta Amazônica, Brasil. 2009. 114 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.**

SUGUITURU, S. S.; MORINI, M. S. C.; FEITOSA, R. M.; SILVA, R. R. Formigas do Alto Tietê. **Editora Canal**, v. 6, 2015.

URBANI, C. B. Phylogeny and behavioural evolution in ants, with a discussion of the role of behaviour in evolutionary processes. **Ethology Ecology & Evolution**, v. 1, n. 2, p. 137-168, 1989.

VASCONCELOS, H. L.; VILHENA, J.; FACURE, K. G.; ALBERNAZ, A. L. Patterns of ant species diversity and turnover across 2000 km of Amazonian floodplain forest. **Journal of Biogeography**, v. 37, n. 3, p. 432-440, 2010.

VASCONCELOS, H. L. Respostas das formigas à fragmentação florestal. **Série Técnica, Piracicaba**, v. 12, 1998.

WARD, P. S. Ants. **Current Biology**, v. 16, n. 5, p. R152-R155, 2006.

WARD, P. S.; BRADY, S. G.; FISHER, B. L.; SHULTZ, T. R. The evolution of myrmicine ants: phylogeny and biogeography of a hyperdiverse ant clade (Hymenoptera: Formicidae). **Systematic Entomology**, v. 40, n. 1, p. 61-81, 2015.

WARD, P. S.; DOWNIE, D. A. The ant subfamily Pseudomyrmecinae (Hymenoptera: Formicidae): phylogeny and evolution of big-eyed arboreal ants. **Systematic Entomology**, v. 30, n. 2, p. 310-335, 2005.

WEBER, N. A. Fungus-growing ants and their fungi: *Trachymyrmex septentrionalis* seminole. **Ecology**, v. 37, n. 1, p. 197-199, 1956.

WILSON, E. O. Pheidole in the New World: a dominant, hyperdiverse ant genus. **Harvard University Press**, 2003.

WILSON, E. O. The arboreal ant fauna of Peruvian Amazon forests: a first assessment. **Biotropica**, p. 245-251, 1987.

WILSON, E. O. Which are the most prevalent ant genera. **Studia Entomologica**, v. 19, n. 1-4, p. 187-200, 1976.

WILSON, E. O.; HÖLLDOBLER, B. Eusociality: origin and consequences. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 38, p. 13367-13371, 2005.

WILSON, E. O.; HÖLLDOBLER, B. The rise of the ants: a phylogenetic and ecological explanation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 21, p. 7411-7414, 2005.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M.; HIRAOKA, M.; MORA, S. El origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía. **Desarrollo Sostenible en la Amazonia: Mito o Realidad**, p. 23-30, 2001.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: **Yearbook. Conference of latin americanist Geographers**. Conference of Latin Americanist Geographers, p. 7-14. 1999.

ANEXO I – LISTA DE ESPÉCIES

Espécies/Pontos	Manaus TPI	Manaus Controle	Santarém TPI	Santarém Controle
<i>Acropyga</i> sp1	X			
<i>Anochetus horridus</i>			X	
<i>Anochetus</i> sp1				X
<i>Anochetus</i> sp2	X			
<i>Apterostigma complexo pilosum</i>	X	X		
<i>Apterostigma urichii</i>			X	
<i>Apterostigma</i> sp1		X		
<i>Azteca</i> sp1		X		
<i>Azteca</i> sp2			X	
<i>Azteca</i> sp3				X
<i>Blepharidatta brasiliensis</i>	X	X		X
<i>Brachymyrmex</i> sp1	X			
<i>Brachymyrmex</i> sp2	X			
<i>Camponotus bidens</i>	X	X		
<i>Camponotus excisus</i>	X			
<i>Camponotus</i> sp1	X		X	X
<i>Camponotus</i> sp2			X	
<i>Camponotus</i> sp3	X	X		
<i>Camponotus</i> sp4		X		X
<i>Camponotus</i> sp5		X	X	
<i>Cephalotes atratus</i>			X	X
<i>Cephalotes placidus</i>		X		
<i>Camponotus atriceps</i>	X	X		
<i>Crematogaster brasiliensis</i>		X		X
<i>Crematogaster carinata</i>	X	X	X	
<i>Crematogaster crinosa</i>	X			
<i>Crematogaster evallans</i>		X		
<i>Crematogaster flavosensitiva</i>				X
<i>Crematogaster nigropilosa</i>	X	X		X
<i>Crematogaster limata</i>	X		X	X
<i>Crematogaster stollii</i>		X		
<i>Crematogaster</i> sp1		X		
<i>Crematogaster</i> sp2				X
<i>Crematogaster</i> sp3				X
<i>Crematogaster</i> sp4				X
<i>Crematogaster</i> sp5			X	
<i>Crematogaster</i> sp6		X		X
<i>Cryptopone holmgreni</i>				X
<i>Cyphomyrmex laevigatus</i>			X	X
<i>Cyphomyrmex</i> sp1	X	X	X	
<i>Cyphomyrmex</i> sp2			X	X

<i>Cyphomyrmex</i> sp3				X
<i>Dolichoderus attelaboides</i>				X
<i>Dolichoderus bidens</i>				X
<i>Dolichoderus imitator</i>		X	X	X
<i>Dorymyrmex brunneus</i>			X	
<i>Eciton rapax</i>				X
<i>Ectatomma brunneum</i>	X	X	X	X
<i>Ectatomma lugens</i>	X	X		X
<i>Ectatomma edentatum</i>	X	X	X	X
<i>Ectatomma tuberculatum</i>	X			
<i>Gigantiops destructor</i>				X
<i>Gnamptogenys horni</i>	X	X	X	X
<i>Gnamptogenys minuta</i>	X			
<i>Gnamptogenys striatula</i>			X	X
<i>Gnamptogenys tortuolosa</i>		X		
<i>Hylomyrma immanis</i>				X
<i>Hylomyrma longiscapa</i>				X
<i>Hypoponera</i> sp1		X		
<i>Hypoponera</i> sp2		X		
<i>Hypoponera</i> sp3			X	
<i>Hypoponera</i> sp4	X			
<i>Hypoponera</i> sp5			X	
<i>Hypoponera</i> sp6			X	
<i>Hypoponera</i> sp7			X	
<i>Hypoponera</i> sp8				X
<i>Hypoponera</i> sp9				X
<i>Labidus coecus</i>	X	X		X
<i>Leptogenys vogeli</i>	X	X	X	X
<i>Linepithema gallardoi</i>	X			
<i>Linepithema neotropicum</i>	X			
<i>Mayaponera constricta</i>	X	X	X	X
<i>Megalomyrmex incisus</i>		X		
<i>Megalomyrmex silvestrii</i>			X	
<i>Megalomyrmex</i> sp1		X		
<i>Mycocepurus goeldi</i>			X	
<i>Mycocepurus smithi</i>	X		X	
<i>Myrmicocrypta foreli</i>	X			X
<i>Myrmicocrypta</i> sp1		X		
<i>Neoponera apicalis</i>	X	X		X
<i>Neoponera commutata</i>			X	X
<i>Neoponera obscuricornis</i>	X		X	X
<i>Nomamyrmex hartigii</i>		X		
<i>Nylanderia</i> cf. <i>steinheili</i>		X	X	
<i>Nylanderia</i> sp1	X	X		
<i>Nylanderia</i> sp2	X			
<i>Nylanderia</i> sp3				X

<i>Nylanderia</i> sp4	x			
<i>Nylanderia</i> sp5		x		
<i>Ochetomyrmex neopolitus</i>	x		x	x
<i>Ochetomyrmex semipolitus</i>			x	x
<i>Octostruma balzani</i>		x		
<i>Octostruma betschi</i>		x		
<i>Odontomachus bauri</i>	x	x	x	x
<i>Pachycondyla crassinoda</i>	x	x	x	x
<i>Pachycondyla harpax</i>	x			
<i>Pheidole capillata</i>		x	x	
<i>Pheidole</i> sp1	x	x		
<i>Pheidole</i> sp2	x	x	x	x
<i>Pheidole</i> sp3		x	x	x
<i>Pheidole</i> sp4		x	x	x
<i>Pheidole</i> sp5	x			x
<i>Pheidole</i> sp6	x			x
<i>Pheidole</i> sp7		x	x	
<i>Pheidole</i> sp8	x			
<i>Pheidole</i> sp9	x	x		
<i>Pheidole</i> sp10			x	x
<i>Pheidole</i> sp11	x	x	x	x
<i>Pheidole</i> sp12	x	x	x	x
<i>Pheidole</i> sp13		x	x	x
<i>Pheidole</i> sp14		x		
<i>Pheidole</i> sp15		x		
<i>Pheidole</i> sp16			x	x
<i>Pheidole</i> sp17	x	x		
<i>Pheidole</i> sp18				x
<i>Pheidole</i> sp19	x	x		
<i>Pheidole</i> sp20			x	x
<i>Pheidole</i> sp21			x	x
<i>Pheidole</i> sp22			x	
<i>Pheidole</i> sp23			x	x
<i>Pheidole</i> sp24			x	
<i>Pheidole</i> sp25	x		x	
<i>Pheidole</i> sp26				x
<i>Pheidole</i> sp27				x
<i>Pheidole</i> sp28			x	
<i>Pheidole</i> sp29				x
<i>Pheidole</i> sp30				x
<i>Pheidole</i> sp31			x	
<i>Pheidole</i> sp32				x
<i>Pheidole</i> sp33			x	
<i>Pheidole</i> sp34				x
<i>Pheidole</i> sp35				x
<i>Pheidole</i> sp36		x		

<i>Pheidole</i> sp37	X			
<i>Pheidole</i> sp38	X			
<i>Pheidole</i> sp39				X
<i>Pheidole</i> sp40				X
<i>Pheidole</i> sp41			X	
<i>Pheidole</i> sp42			X	
<i>Pheidole</i> sp43	X			
<i>Pheidole</i> sp44				X
<i>Pheidole</i> sp45		X		
<i>Pheidole</i> sp46				X
<i>Pseudomyrmex tenuis</i>	X	X	X	
<i>Pseudoponera stigma</i>			X	
<i>Rogeria lirata</i>			X	
<i>Rogeria scobinata</i>				X
<i>Rogeria</i> sp1				X
<i>Sericomyrmex</i> sp1	X		X	
<i>Sericomyrmex</i> sp2		X		
<i>Sericomyrmex</i> sp3			X	
<i>Sericomyrmex</i> sp4			X	
<i>Sericomyrmex</i> sp5			X	
<i>Sericomyrmex</i> sp6	X		X	X
<i>Solenopsis</i> sp1	X		X	X
<i>Solenopsis</i> sp2	X		X	X
<i>Solenopsis</i> sp3	X	X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp4	X			X
<i>Solenopsis</i> sp5	X		X	
<i>Solenopsis</i> sp6			X	
<i>Solenopsis</i> sp7	X			
<i>Solenopsis</i> sp8		X	X	
<i>Solenopsis</i> sp9		X		
<i>Solenopsis</i> sp10				X
<i>Solenopsis</i> sp11	X			
<i>Solenopsis</i> sp12		X		
<i>Solenopsis</i> sp13	X			
<i>Solenopsis</i> sp14	X	X		
<i>Strumigenys borgmeieri</i>	X			
<i>Strumigenys</i> pr <i>schmalzi</i>	X			
<i>Trachymyrmex</i> sp1	X		X	X
<i>Trachymyrmex</i> sp2			X	X
<i>Trachymyrmex</i> sp3			X	X
<i>Trachymyrmex</i> sp4	X			X
<i>Trachymyrmex</i> sp5		X		
<i>Trachymyrmex</i> sp6	X	X		
<i>Trachymyrmex</i> sp7		X		
<i>Trachymyrmex</i> sp8		X		
<i>Trachymyrmex</i> sp9			X	

<i>Trachymyrmex</i> sp10	x		
<i>Trachymyrmex</i> sp11			x
<i>Trachymyrmex</i> sp12			x
<i>Wasmannia auropunctata</i>	x	x	x
